

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/011276

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> G02D9/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> F02D9/02, F02D13/02, F02D41/02, F02D41/04

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	JP 2002-303177 A (Denso Corp.), 18 October, 2002 (18.10.02), Claims 1, 2, 3, 4 Par. Nos. [0004], [0012], [0026], [0029], [0037], [0040], [0048], [0050], [0056], [0058], [0060], [0064], [0078], [0081], [0084], [0085], [0087], [0099], [0100]; Figs. 1 to 5 & DE 10214722 A	1-3, 5-10, 12-14 4, 11
X A	JP 2002-332872 A (Denso Corp.), 22 November, 2002 (22.11.02), Par. Nos. [0014], [0025], [0029], [0031], [0033], [0036], [0039], [0042], [0046]; Figs. 1 to 5 & DE 10214722 A	1-3, 5-10, 12-14 4, 11

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
21 October, 2004 (21.10.04)

Date of mailing of the international search report  
09 November, 2004 (09.11.04)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2004/011276

**Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)**

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:  
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
2. ☐ Claims Nos.:  
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
3. ☐ Claims Nos.:  
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

**Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)**

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

The result of search reveals that a common matter pertaining to Claims 1, 2, 8, and 9, Claims 3, 4, 10, and 11, Claims 5, 6, 12, and 13, and Claims 7 and 14 is not novel since it is disclosed in Document JP 2002-303177. The common matter is not a special technical feature in the meaning of the second sentence of PCT Rule 13.2 since the common matter makes no contribution over the prior art, and any technical relation in the meaning of PCT Rule 13 cannot be found among these different inventions.

1. ☒ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

**Remark on Protest**

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.
- ☒ No protest accompanied the payment of additional search fees.

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl. 7 F02D9/02

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl. 7 F02D9/02, F02D13/02, F02D41/02, F02D41/04

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年  
 日本国公開実用新案公報 1971-2004年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2004年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	J P 2002-303177 A (株式会社デンソー), 2002.10.18, 【請求項1】, 【請求項2】, 【請求項3】, 【請求項4】, 【0004】, 【0012】, 【0026】, 【0029】, 【0037】, 【0040】, A 【0048】, 【0050】, 【0056】, 【0058】, 【0060】, 【0064】, 【0078】, 【0081】, 【0084】, 【0085】, 【0087】, 【0099】, 【0100】, 第1~5図 & DE 10214722 A	1-3, 5-10, 12-14  4, 11

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

21.10.2004

国際調査報告の発送日

09.11.2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)  
 郵便番号100-8915  
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

藤井 眞 吾

3 G

3326

電話番号 03-3581-1101 内線 3354

C (続き). 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 2002-332872 A (株式会社デンソー), 2002. 11. 22, 【0014】, 【0025】, 【0029】, 【0031】, 【0033】, 【0036】, 【0039】, 【0042】, 【0046】, 第1~5図	1-3, 5-10, 12-14
A	& DE 10214722 A	4, 11

## 第Ⅱ欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見 (第1ページの2の続き)

法第8条第3項 (PCT17条(2)(a)) の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。つまり、
2. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

## 第Ⅲ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見 (第1ページの3の続き)

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるとこの国際調査機関は認めた。

調査の結果、請求の範囲1、2、8、9、請求の範囲3、4、10、11、請求の範囲5、6、12、13、請求の範囲7、14に共通の事項は、文献JP 2002-303177に開示されているから、新規でないことが明らかとなった。

結果として、上記事項は先行技術の域を出ないから、PCT規則13.2の第2文の意味において、この共通事項は特別な技術的特徴ではなく、それらの相違する発明の間にPCT規則13の意味における技術的な関連を見いだすことはできない。

1. ☒ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. ☐ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

## 追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあった。
- ☒ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがなかった。

## 明 細 書

## 内燃機関の吸気量制御装置及び吸気量制御方法

## 技術分野

本発明は内燃機関の吸気量制御装置及び吸気量制御方法に関する。

## 背景技術

近年、燃費の向上等を目的として、スロットル弁とそれ以外の機構との協調制御によって吸気量を制御するようにした内燃機関が公知になっている。上記機構の例としては、吸気弁や排気弁の開弁特性を制御する可変動弁機構が代表的であるが、その他にも気筒数可変機構や排気量可変機構等がある。

そしてこのような吸気量を制御する付加的な機構は、一般に、アクセル開度等に対応して設定される吸気量（すなわち、目標吸気量）と内燃機関の運転状態とに応じて、燃費、エミッション、トルク変動等の条件が複合的に最適となる状態に設定されるのであるが、内燃機関自体は運転者のアクセル操作に対応した運転（もしくはトルク発生）を行うことが期待されるため、上記機構がどのような状態に設定されたとしても、アクセル開度に対応した上記目標吸気量を実現するようにする必要がある。すなわち、上記機構の設定状態に対応して上記目標吸気量を実現するスロットル弁の開度（すなわち、目標スロットル開度）を求め、その開度にスロットル弁の開度を調整する必要がある。

スロットル弁の目標開度を求める方法としては、例えば特開 2002-309993 号公報に、アクセル開度から要求トルク、要求

トルクから目標吸気量、目標吸気量から目標吸気圧、目標吸気圧からスロットル弁の目標開度、と吸気系モデルを用いて順次算出する方法が開示されている。しかしながら、特開 2002-309993 号公報に開示されているのはスロットル弁のみによって吸気量を制御する場合であり、上記のような吸気量を制御する付加的な機構を有する場合には対応していない。

他方、上記のような機構を有する場合にも対応し得るスロットル弁の目標開度を求める方法としては、目標吸気量と、運転状態を表す各指標を引数とした目標開度のマップを事前に作成しておき、そのマップに基づいて求める方法がある。しかしながら、実際にこのようなマップを作成するためには、多大な時間が必要となる。特に上記のような機構を備えている場合には、その設定状態を表す指標が上記の運転状態を表す指標として加わるため、マップ作成作業の工数は非常に大きなものとなる。そしてマップ作成作業の工数を低減すべく、引数や実測点を減少させた場合には、得られる目標開度の精度が低下することが懸念される。

#### 発明の開示

本発明は、上記のような問題に鑑みてなされたもので、その目的は、スロットル弁とそれと協働する吸気量可変手段とを備えた内燃機関の吸気量制御装置及び吸気量制御方法であって、吸気量可変手段の設定状態に応じたスロットル弁の目標開度を、上記のような問題のない新規な方法によって求めるようにした吸気量制御装置及び吸気量制御方法を提供することである。

本発明は、上記課題を解決するための手段として、請求の範囲の各請求項に記載された内燃機関の吸気量制御装置または吸気量制御方法を提供する。

本発明の1番目の態様では、スロットル弁と、該スロットル弁と協働する吸気量可変手段とを備えた内燃機関において吸気量を制御する装置であって、機関吸気系をモデル化して該機関吸気系を通過する空気について表したモデル式を備えていて、更に、アクセル開度と機関回転数とに基づいて目標吸気量を求める手段と、少なくとも上記目標吸気量に基づいて上記吸気量可変手段についての目標設定状態を決定する手段と、上記目標吸気量と、上記目標設定状態とから、上記モデル式に基づいて上記目標吸気量を実現するスロットル開度である目標スロットル開度を求める手段とを有する、内燃機関の吸気量制御装置が提供される。

本態様によれば、スロットル弁と、該スロットル弁と協働する吸気量可変手段とを備えた内燃機関において、吸気量を制御する際の上記目標スロットル開度が、上記目標吸気量と、上記目標設定状態とから、機関吸気系をモデル化して該機関吸気系を通過する空気について表したモデル式に基づいて求められる。これにより、従来に比べ、上記目標スロットル開度を求めるのに必要なマップを作成するための工数を削減することができ、また、上記目標スロットル開度を比較的精度良く求めることができる。

なお、本明細書でいう吸気量とは、内燃機関の稼動中の全気筒の燃焼室内に吸入される空気の量のことである。そのため、例えば、気筒の一部を休止させることによっても上記吸気量を変化させることができる。また、上記吸気量は、例えば、筒内充填空気量、筒内吸入空気流量、筒内空気充填率等で表すことができる。

本発明の2番目の態様では、目標スロットル開度を求める上記手段は、上記目標吸気量と、上記目標設定状態とに基づいて、上記吸気量可変手段が上記目標設定状態に設定されている場合に上記目標吸気量を実現するスロットル弁下流側の吸気管内圧力である目標吸

気管内圧力を求める手段と、上記目標吸気量と、上記目標吸気管内圧力とに基づいて、上記目標スロットル開度を求める手段とを有している。

本態様によっても1番目の態様とほぼ同様の作用及び効果を得ることができる。

本発明の3番目の態様では、上記モデル式として、スロットル弁下流側の吸気管内圧力とスロットル弁通過空気流量との関係を表す第1の式であってスロットル開度に応じて定まる第1の式と、スロットル弁下流側の吸気管内圧力と筒内吸入空気流量との関係を表す第2の式であって少なくとも上記吸気量可変手段の設定状態と機関回転数とに応じて定まる第2の式と、を有している。

本態様によっても1番目の態様とほぼ同様の作用及び効果を得ることができる。

本発明の4番目の態様では、目標吸気量を求める上記手段は、上記アクセル開度と上記機関回転数とに基づいて上記吸気量可変手段が予め定めた基準状態に設定されているとした場合における目標スロットル開度である基準目標スロットル開度を求める手段を有していて、該手段によって求められた基準目標スロットル開度によって定められた上記第1の式に基づいて求められるスロットル弁通過空気流量と、上記吸気量可変手段が上記基準状態に設定されているとして少なくとも機関回転数によって定められた上記第2の式に基づいて求められる筒内吸入空気流量とが同一のスロットル弁下流側吸気管内圧力に対して等しくなる時の上記筒内吸入空気流量を求め、該筒内吸入空気流量を目標吸気量とする、もしくは該筒内吸入空気流量を換算した値を目標吸気量とする。

本態様によれば、運転者の意図に則した目標吸気量を設定することができる。

本発明の 5 番目の態様では、目標スロットル開度を求める上記手段は、上記目標吸気量と、上記目標設定状態とに基づいて、上記吸気量可変手段が上記目標設定状態に設定されている場合に上記目標吸気量を実現するスロットル弁下流側の吸気管内圧力である目標吸気管内圧力を求める手段を有していて、該手段は、上記吸気量可変手段が上記目標設定状態に設定されているとして少なくとも機関回転数によって定められた上記第 2 の式に筒内吸入空気流量で表された上記目標吸気量を代入することによって上記目標吸気管内圧力を求める。

本態様によれば、上記目標スロットル開度を求める過程において、比較的簡単な計算により上記目標吸気管内圧力を求めることができる。

本発明の 6 番目の態様では、目標スロットル開度を求める上記手段は、上記目標吸気量と、上記目標吸気管内圧力とに基づいて上記目標スロットル開度を求める手段を更に有していて、該手段は、筒内吸入空気流量で表された上記目標吸気量と、上記目標吸気管内圧力とを用いて、上記第 1 の式に基づいて上記目標スロットル開度を求める。

本態様によっても 1 番目の態様とほぼ同様の作用及び効果を得ることができる。

本発明の 7 番目の態様では、上記吸気量可変手段は、吸気弁及び排気弁の少なくとも一方の開弁特性を制御する開弁特性制御手段である。

本態様によれば、スロットル弁と、上記開弁特性制御手段とを備えた内燃機関において吸気量を制御する際の上記目標スロットル開度が、上記目標吸気量と、上記目標設定状態（より詳細には、目標開弁特性）とから、機関吸気系をモデル化して該機関吸気系を通過

する空気について表したモデル式に基づいて求められる。これにより、従来に比べ、上記目標スロットル開度を求めるのに必要なマップを作成するための工数を削減することができ、また、上記目標スロットル開度を比較的精度良く求めることができる。なお、本明細書において開弁特性とは、バルブリフト量、作用角、弁の開閉タイミングのうちの一つ、もしくは複数のものを意味する。

本発明の 8 番目の態様では、スロットル弁と、該スロットル弁と協働する吸気量可変手段とを備えた内燃機関において吸気量を制御する方法であって、アクセル開度と機関回転数とに基づいて目標吸気量を求める段階と、少なくとも上記目標吸気量に基づいて上記吸気量可変手段についての目標設定状態を決定する段階と、上記目標吸気量と、上記目標設定状態とから、機関吸気系をモデル化して該機関吸気系を通過する空気について表したモデル式に基づいて上記目標吸気量を実現するスロットル開度である目標スロットル開度を求める段階とを有する、内燃機関の吸気量制御方法が提供される。

本態様によっても 1 番目の態様とほぼ同様の作用及び効果を得ることができる。

本発明の 9 番目の態様では、目標スロットル開度を求める上記段階は、上記目標吸気量と、上記目標設定状態とに基づいて、上記吸気量可変手段が上記目標設定状態に設定されている場合に上記目標吸気量を実現するスロットル弁下流側の吸気管内圧力である目標吸気管内圧力を求める段階と、上記目標吸気量と、上記目標吸気管内圧力とに基づいて、上記目標スロットル開度を求める段階とを有している。

本態様によっても 1 番目の態様とほぼ同様の作用及び効果を得ることができる。

本発明の 10 番目の態様では、上記モデル式として、スロットル

弁下流側の吸気管内圧力とスロットル弁通過空気流量との関係を表す第 1 の式であってスロットル開度に応じて定まる第 1 の式と、スロットル弁下流側の吸気管内圧力と筒内吸入空気流量との関係を表す第 2 の式であって少なくとも上記吸気量可変手段の設定状態と機関回転数とに応じて定まる第 2 の式と、が少なくとも用いられる。

本態様によっても 1 番目の態様とほぼ同様の作用及び効果を得ることができる。

本発明の 1 1 番目の態様では、目標吸気量を求める上記段階は、上記アクセル開度と上記機関回転数とに基づいて上記吸気量可変手段が予め定めた基準状態に設定されているとした場合における目標スロットル開度である基準目標スロットル開度を求める段階を有していて、目標吸気量を求める上記段階においては、上記基準目標スロットル開度によって定められた上記第 1 の式に基づいて求められるスロットル弁通過空気流量と、上記吸気量可変手段が上記基準状態に設定されているとして少なくとも機関回転数によって定められた上記第 2 の式に基づいて求められる筒内吸入空気流量とが同一のスロットル弁下流側吸気管内圧力に対して等しくなる時の上記筒内吸入空気流量が求められ、該筒内吸入空気流量が目標吸気量とされる、もしくは該筒内吸入空気流量を換算した値が目標吸気量とされる。

本態様によれば、運転者の意図に則した目標吸気量を設定することができる。

本発明の 1 2 番目の態様では、目標スロットル開度を求める上記段階は、上記目標吸気量と、上記目標設定状態とに基づいて、上記吸気量可変手段が上記目標設定状態に設定されている場合に上記目標吸気量を実現するスロットル弁下流側の吸気管内圧力である目標吸気管内圧力を求める段階を有していて、該段階においては、上記

吸気量可変手段が上記目標設定状態に設定されているとして少なくとも機関回転数によって定められた上記第2の式に筒内吸入空気流量で表された上記目標吸気量を代入することによって上記目標吸気管内圧力が求められる。

本態様によれば、上記目標スロットル開度を求める過程において、比較的簡単な計算により上記目標吸気管内圧力を求めることができる。

本発明の13番目の態様では、目標スロットル開度を求める上記段階は、上記目標吸気量と、上記目標吸気管内圧力とに基づいて上記目標スロットル開度を求める段階を更に有していて、該段階においては、筒内吸入空気流量で表された上記目標吸気量と、上記目標吸気管内圧力とを用いて、上記第1の式に基づいて上記目標スロットル開度が求められる。

本態様によっても1番目の態様とほぼ同様の作用及び効果を得ることができる。

本発明の14番目の態様では、上記吸気量可変手段は、吸気弁及び排気弁の少なくとも一方の開弁特性を制御する開弁特性制御手段である。

本態様によれば、7番目の態様とほぼ同様の作用及び効果を得ることができる。

以下、添付図面と本発明の好適な実施形態の記載から、本発明を一層十分に理解できるであろう。

#### 図面の簡単な説明

図1は、本発明を筒内噴射型火花点火式内燃機関に適用した場合の一例を示す概略図である。

図2は、バルブリフト量変更装置が作動されるのに伴って吸気弁

のバルブリフト量及び作用角が変化する様子を示した図である。

図 3 は、開閉タイミングシフト装置が作動されるのに伴って吸気弁の開閉タイミングがシフトする様子を示した図である。

図 4 は、スロットル開度と流量係数との関係を示す図である。

図 5 は、関数  $\Phi$  ( $P_m / P_{ac}$ ) を示す図である。

図 6 は、スロットルモデルの基本概念を示す図である。

図 7 は、吸気管モデルの基本概念を示す図である。

図 8 は、吸気弁モデルの基本概念を示す図である。

図 9 は、筒内充填空気量及び筒内吸入空気流量の定義に関する図である。

図 10 は、本発明の一実施形態における吸気量制御の制御ルーチンを示すフローチャートである。

図 11 は、図 10 の制御ルーチンのステップ 101 に関連する図であり、目標吸気量  $m_{cta}$  について示した図である。

図 12 は、図 10 の制御ルーチンのステップ 105 に関連する図であり、目標吸気管内圧力  $P_{mta}$  について示した図である。

図 13 は、図 10 の制御ルーチンのステップ 107 に関連する図である。

#### 発明を実施するための最良の形態

以下、図面を参照して、本発明の実施形態について詳細に説明する。なお、図面において、同一または類似の構成要素には共通の参照番号を付す。

図 1 は本発明を筒内噴射型火花点火式内燃機関に適用した場合の一例を示す概略図である。なお、本発明は別の火花点火式内燃機関や圧縮自着火式内燃機関に適用してもよい。

図 1 において、1 は内燃機関本体、2 は吸気弁、3 は吸気ポート

、4は排気弁、5は排気ポート、6はシリンダ（気筒）7内に形成された燃焼室をそれぞれ示す。各気筒の吸気ポート3は下流側の吸気管8を介してサージタンク9に連結され、サージタンク9は上流側の吸気管10を介してエアクリーナ11へ連結される。上記吸気管10内にはスロットル弁12が配置される。一方、各気筒の排気ポート5は排気管13に連結される。

また、14はバルブリフト量を変更するためのバルブリフト量変更装置を示している。つまり、本実施形態ではバルブリフト量変更装置14を作動させることにより、吸気弁2のバルブリフト量を制御することができる。

バルブリフト量変更装置14を作動させることによって吸気弁2のバルブリフト量が増え変わると、それに伴って吸気弁2の開口面積が増え変わることになる。本実施形態の吸気弁2では、バルブリフト量が増え変わることによって吸気弁2の開口面積が増加する。また後述するように本実施形態ではバルブリフト量変更装置14によって吸気弁2のバルブリフト量が増え変わると、それに伴って吸気弁2の作用角も増え変わる。

一方、15は吸気弁2のバルブリフト量及び作用角を増え変わることなく開閉タイミングをシフトさせるための開閉タイミングシフト装置を示している。つまり、開閉タイミングシフト装置15を作動することにより、吸気弁2の開閉タイミングを進角側にシフトさせたり、遅角側にシフトさせたりすることができ、これによってバルブオーバーラップ量の調整等を行うことができる。

16は燃料噴射弁、17は点火栓、18は吸気弁2のバルブリフト量及び作用角、並びに開閉タイミングシフト量を検出するための開弁特性センサ、19は機関回転数を検出するための機関回転数センサである。20は内燃機関の周囲の大気圧を検出するための

大気圧センサ、２１は内燃機関冷却水の温度を検出するための冷却水温センサ、２２は内燃機関の周囲の大気の温度を検出するための大気温センサである。２３はスロットル弁１２の開度を検出するためのスロットル開度センサ、２４はエアフローメータ、２５はスロットル弁１２よりも下流側の吸気管内の圧力を検出するための吸気管内圧力センサである。２６はアクセルペダル２７に接続された負荷センサであり、アクセルペダル２７の踏み込み量（以下、「アクセル踏み込み量」と称す）に比例した出力を発生する。２８はＥＣＵ（電子制御装置）であり、図１に示されているように上述の各センサの出力はここへ入力される。

本実施形態において、燃料噴射弁１６はＥＣＵ２８に接続されており、ＥＣＵ２８からの信号によって噴射される燃料量や噴射時期を制御することができる。同様に、点火栓１７もＥＣＵ２８に接続されており、ＥＣＵ２８からの信号によって点火時期を制御することができる。また、スロットル弁１２の開度はアクセル踏み込み量とは無関係に変更することができ、スロットル開度を調整することでスロットル弁下流側の吸気管内の圧力を制御することができる。

図２は、バルブリフト量変更装置１４が作動されるのに伴って吸気弁２のバルブリフト量が増加する様子を示した図である。図２に示すように、バルブリフト量変更装置１４によって吸気弁２のバルブリフト量が連続的に変更せしめられる。また、上述したように本実施形態においては、バルブリフト量の変化に伴って、吸気弁２の開弁期間に対応する作用角についても変化する。詳細には、吸気弁２のバルブリフト量が増加せしめられるのに伴って、吸気弁２の作用角が増加せしめられる（実線→破線→一点鎖線）。したがって、本実施形態において、バルブリフト量変更装置１４はリフト量制御手段と作用角制御手段の両方を構成する。

また、本実施形態では、バルブリフト量変更装置 14 が作動されるのに伴って、吸気弁 2 のバルブリフト量がピークとなるタイミングも変更せしめられる。より詳細には、図 2 に示されているように、吸気弁 2 のバルブリフト量が増加せしめられるのに伴って、吸気弁 2 のバルブリフト量がピークとなるタイミングが遅角せしめられる。

図 3 は、開閉タイミングシフト装置 15 が作動されるのに伴って吸気弁 2 の開閉タイミングがシフトする様子を示した図である。図 3 に示すように、開閉タイミングシフト装置 15 によって吸気弁 2 の開閉タイミングが連続的に変更せしめられる。この時、吸気弁 2 の作用角は変更されない。

本実施形態では、各気筒の燃焼室 6 内に吸入される空気量を、吸気弁 2 の開弁特性（リフト量、作用角、バルブタイミング）とスロットル弁 12 の開度（より詳細には、スロットル弁下流側の吸気管内圧力）とを協調制御することによって制御することができる。つまり、内燃機関の吸気量を、吸気弁 2 の開弁特性とスロットル弁 12 の開度とを協調制御することによって制御することができる。また、他の実施形態では、これらに加え、アイドルスピードコントロールバルブ（図示なし）の開度を制御することによって吸気量を制御するようにしてもよい。

ところで、近年、内燃機関の吸気系を流体力学等に基づいてモデル化し、そのモデルを用いて算出した制御パラメータに基づいて内燃機関の制御を行うことが検討されている。すなわち、例えば、内燃機関の吸気系について、スロットルモデル、吸気管モデル、吸気弁モデル等を構築して吸気系を通過する空気について表したモデル式を求め、これら各モデル式を用いることにより各種の制御に必要なパラメータを算出して、これらに基づいて内燃機関の制御を行う

ようにする。

そして、本実施形態においても、図1に示したような構成において、その吸気系がスロットルモデル、吸気管モデル、吸気弁モデルの各モデルにモデル化され、以下で説明するような各モデル式が具備されている。以下、上記の各モデル及びそのモデル式について説明する。

まずスロットルモデルについて説明する。スロットルモデルはスロットル弁をモデル化したものであり、これによるとスロットル弁通過空気流量  $m_t$  ( $g/s$ ) が下記式(1)によって表される。ここで、 $P_{ac}$  ( $kPa$ ) はスロットル弁12の上流側の吸気管内圧力(以下、「上流側吸気管内圧力」と称す)であり、少なくともエアクリーナ11の圧力損失を考慮して求められた値である。また、 $T_a$  ( $K$ ) は大気温度、 $P_m$  ( $kPa$ ) はスロットル弁より下流側の吸気管内圧力(以下、「下流側吸気管内圧力」と称す)、 $R$  は気体定数である。更に、 $\mu$  はスロットル弁における流量係数で、スロットル開度  $\theta_t$  の関数であり、図4に示したようなマップから定まる。また、 $A_t$  ( $m^2$ ) はスロットル弁の開口断面積(以下、「スロットル開口面積」と称す)を示し、スロットル開度  $\theta_t$  の関数である。なお、これら流量係数  $\mu$  及びスロットル開口面積  $A_t$  をまとめた  $\mu \cdot A_t$  をスロットル開度  $\theta_t$  だけを変数とする関数  $F(\theta_t)$  とすると、式(1)は式(2)のように書き換えることができる。そしてこの関数  $F(\theta_t)$  の値を実験またはシミュレーション等によって求めて  $\theta_t$  を引数とするマップを事前に作成しておけば、そのマップに基づいてスロットル開度  $\theta_t$  から  $F(\theta_t)$  の値を求めることができる。

$$m t = \mu \cdot A t \cdot \frac{P_{ac}}{\sqrt{R \cdot T_a}} \cdot \Phi\left(\frac{P_m}{P_{ac}}\right) \quad \dots (1)$$

$$m t = F(\theta t) \cdot \frac{P_{ac}}{\sqrt{R \cdot T_a}} \cdot \Phi\left(\frac{P_m}{P_{ac}}\right) \quad \dots (2)$$

$\Phi(P_m / P_{ac})$  は下記式 (3) に示した関数であり、この式 (3) における  $\kappa$  は比熱比 ( $\kappa = C_p$  (等圧比熱) /  $C_v$  (等容比熱)) であり、一定値とする) である。この関数  $\Phi(P_m / P_{ac})$  は図 5 に示したようなグラフに表すことができるので、このようなグラフをマップとして ECU 28 に保存し、実際には式 (3) を用いて計算するのではなくマップから  $\Phi(P_m / P_{ac})$  の値を求めるようにしてもよい。

$$\Phi\left(\frac{P_m}{P_{ac}}\right) = \begin{cases} \sqrt{\frac{\kappa}{2(\kappa+1)}} & \dots \frac{P_m}{P_{ac}} \leq \frac{1}{\kappa+1} \\ \sqrt{\left\{\left(\frac{\kappa-1}{2\kappa}\right) \cdot \left(1 - \frac{P_m}{P_{ac}}\right) + \frac{P_m}{P_{ac}}\right\} \cdot \left(1 - \frac{P_m}{P_{ac}}\right)} & \dots \frac{P_m}{P_{ac}} > \frac{1}{\kappa+1} \end{cases} \quad \dots (3)$$

これらスロットルモデルのモデル式である式 (1) から式 (3) は、スロットル弁 12 上流の気体の圧力を上流側吸気管内圧力  $P_{ac}$ 、スロットル弁 12 上流の気体の温度を大気温度  $T_a$ 、スロットル弁 12 を通過する気体の圧力を下流側吸気管内圧力  $P_m$  として、図 6 に示したようなスロットル弁 12 のモデルに対して、質量保存則、エネルギー保存則及び運動量保存則を適用し、更に気体の状態方程式、比熱比の定義式、及びマイヤーの関係式を利用することによって得られる。

なお、ここでスロットル弁 12 上流の気体の圧力として大気圧  $P$

aではなく、上記上流側吸気管内圧力  $P_{ac}$  を用いたのは、実際のスロットル弁 12 上流側の圧力は、機関吸気系におけるスロットル弁上流側の圧力損失があるために、通常、機関運転中においては大気圧  $P_a$  より低い圧力となっているからである。そして特に図 1 に示した構成においては、機関吸気系の最上流部にエアクリーナ 11 が設けられているので、より正確にスロットル弁通過空気流量  $m_t$  を算出するためには、少なくともエアクリーナ 11 の圧力損失を考慮して求めた上記上流側吸気管内圧力  $P_{ac}$  を用いることがより好ましいと考えられる。

ところで、上記上流側吸気管内圧力  $P_{ac}$  は、スロットル弁 12 の直上流に圧力センサを設けて検出するようにしてもよいが、圧力センサを使用しないで算出することも可能である。すなわち、大気圧  $P_a$  と上流側吸気管内圧力  $P_{ac}$  との差は、ベルヌーイの定理により、下記式 (4) のように表すことができる。

$$P_a - P_{ac} = \frac{1}{2} \rho v^2 = k \frac{G_a^2}{\rho} \quad \dots (4)$$

ここで、 $\rho$  は大気密度であり、 $v$  はエアクリーナ 11 を通過する空気の流速であり、 $G_a$  はエアクリーナ 11 を通過する空気の流量であり、 $k$  は  $v$  と  $G_a$  の比例係数である。標準大気密度  $\rho_0$  と、標準大気密度  $\rho_0$  を現在の大気密度  $\rho$  へ変換するための圧力補正係数  $e_{kpa}$  及び温度補正係数  $e_{ktha}$  とを使用すれば、式 (4) は下記式 (5) のように書き換えることができる。更に、式 (5) は、流量  $G_a$  だけを変数とする関数  $f(G_a)$  を使用して下記式 (6) のように書き換えることができる。そして、この関数  $f(G_a)$  の値を実験またはシミュレーション等によって求めて  $G_a$  を引数とするマップを事前に作成しておけば、そのマップに基づいて流量  $G$

a から f ( G a ) の値を求めることができる。

$$P_a - P_{ac} = \frac{k}{\rho_0} \cdot G_a^2 \cdot \frac{1}{ekpa \cdot ektha} \quad \dots (5)$$

$$P_a - P_{ac} = \frac{f(G_a)}{ekpa \cdot ektha} \quad \dots (6)$$

式 ( 6 ) は、上記上流側吸気管内圧力  $P_{ac}$  を表す下記式 ( 7 ) のように変形することができる。式 ( 7 ) において、流量  $G_a$  は、エアクリーナ 11 の下流側のエアフローメータ 24 により検出することができる。そして、その流量  $G_a$  を用いて上述した  $f ( G a )$  のマップから  $f ( G a )$  の値を求めることができる。また、圧力補正係数  $ekpa$  は、検出される大気圧  $P_a$  により設定可能であり、温度補正係数  $ektha$  は、検出される大気温度  $T_a$  により設定可能である。

$$P_{ac} = P_a - \frac{f(G_a)}{ekpa \cdot ektha} \quad \dots (7)$$

また、式 ( 7 ) において、エアクリーナ 11 を通過する空気の流量  $G_a$  は、スロットル弁通過空気流量  $m_t$  と考えることができ、式 ( 7 ) は下記式 ( 8 ) のように変形することができる。

$$P_{ac} = P_a - \frac{f(m_t)}{ekpa \cdot ektha} \quad \dots (8)$$

更に、上記流量  $G_a$  は機関回転数  $NE$  及び後述する筒内空気充填率  $K_1$  に比例することから、 $j$  を比例係数とすると上記式 ( 7 ) は下記式 ( 9 ) のように変形することもできる。

$$P_{ac} = P_a - \frac{f(j \cdot NE \cdot Kl)}{ekpa \cdot ektha} \quad \dots (9)$$

次に吸気管モデルについて説明する。吸気管モデルは、スロットル弁12から吸気弁2までの吸気管8等の部分（以下、「吸気管部分」と称す）8'をモデル化したものであり、これによると下流側吸気管内圧力 $P_m$  (kPa) 及び下流側吸気管内温度 $T_m$  (K) について下記式(10) 及び式(11) のようなモデル式が得られる。ここで、 $m_c$  (g/s) は筒内吸入空気流量であり、 $V_m$  (m<sup>3</sup>) は上記吸気管部分8'の容積に等しい定数である。

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{P_m}{T_m} \right) = \frac{R}{V_m} \cdot (m_t - m_c) \quad \dots (10)$$

$$\frac{dP_m}{dt} = \kappa \cdot \frac{R}{V_m} \cdot (m_t \cdot T_a - m_c \cdot T_m) \quad \dots (11)$$

ここで、吸気管モデルについて図7を参照して説明する。吸気管部分8'の総気体量を $M$ とすると、総気体量 $M$ の時間的変化は、吸気管部分8'に流入する気体の流量、すなわちスロットル弁通過空気流量 $m_t$ と、吸気管部分8'から流出する気体の流量、すなわち筒内吸入空気流量 $m_c$ との差に等しいため、質量保存則により下記式(12) が得られ、この式(12) 及び気体の状態方程式 ( $P_m \cdot V_m = M \cdot R \cdot T_m$ ) より、式(10) が得られる。

$$\frac{dM}{dt} = m_t - m_c \quad \dots (12)$$

また、吸気管部分8'の気体のエネルギー $M \cdot C_v \cdot T_m$ の時間的

変化量は、吸気管部分 8' に流入する気体のエネルギーと吸気管部分 8' から流出する気体のエネルギーとの差に等しい。このため、吸気管部分 8' に流入する気体の温度を大気温度  $T_a$ 、吸気管部分 8' から流出する気体の温度を下流側吸気管内温度  $T_m$  とすると、エネルギー保存則により下記式 (13) が得られ、この式 (13) 及び上記気体の状態方程式より、式 (11) が得られる。

$$\frac{d(M \cdot C_v \cdot T_m)}{dt} = C_p \cdot m_t \cdot T_a - C_p \cdot m_c \cdot T_m \quad \dots (13)$$

最後に吸気弁モデルについて説明する。吸気弁モデルは吸気弁をモデル化したものであり、これによると筒内吸入空気流量  $m_c$  が下記式 (14) のようなモデル式で表される。式 (14) における  $A$ 、 $B$  は、少なくとも機関回転数  $N_E$  に基づいて定められる適合パラメータであり、予めマップを作成しておき、必要に応じてマップを検索して求めるようにする。なお、本実施形態においては、上述したように吸気弁 2 に対してバルブリフト量変更装置 14 及び開閉タイミングシフト装置 15 が設けられており、吸気弁 2 のバルブリフト量及び開閉タイミング等の開弁特性を変更できるので、上記適合パラメータ  $A$ 、 $B$  は、吸気弁 2 の開弁特性の設定状態にも基づいて定められる。

$$m_c = A \cdot P_m - B \quad \dots (14)$$

上述した吸気弁モデルについて図 8 を参照して説明する。一般に、吸気弁 2 が閉じた時に燃焼室 6 内に充填されている空気の量である筒内充填空気量  $M_c$  は、吸気弁 2 が閉弁する時（吸気弁閉弁時）に確定し、吸気弁閉弁時の燃焼室 6 内の圧力に比例する。また、吸

気弁閉弁時の燃焼室 6 内の圧力は吸気弁上流の気体の圧力、すなわち下流側吸気管内圧力  $P_m$  と等しいとみなすことができる。したがって、筒内充填空気量  $M_c$  は、下流側吸気管内圧力  $P_m$  に比例すると近似することができる。

ここで、単位時間あたりに吸気管部分 8 から流出する全空気の量を平均化したもの、または単位時間あたりに吸気管部分 8 から全ての燃焼室 6 に吸入される空気の量を一つの気筒の吸気行程に亘って平均化したものを筒内吸入空気流量  $m_c$ （以下で詳述する）とすると、筒内充填空気量  $M_c$  が下流側吸気管内圧力  $P_m$  に比例することから、筒内吸入空気流量  $m_c$  も下流側吸気管内圧力  $P_m$  に比例すると考えられる。このことから、理論及び経験則に基づいて、上記式（14）が得られる。なお、式（14）における適合パラメータ  $A$  は比例係数であり、適合パラメータ  $B$  は排気弁閉弁時において燃焼室 6 内に残存している既燃ガス量に関連する値である。

なお、適合パラメータ  $A$ 、 $B$  について、機関回転数等が同じであっても下流側吸気管内圧力  $P_m$  が大きい場合と小さい場合とでそれぞれ異なる二つの値（例えば、 $A_1$ 、 $B_1$  及び  $A_2$ 、 $B_2$ ）をとるようにすることによって、すなわち、筒内吸入空気流量  $m_c$  を二つの上記式（14）のような式（つまり、下流側吸気管内圧力  $P_m$  の一次式）で示すようにすることによって、筒内吸入空気流量  $m_c$  をより正確に求めることが可能な場合があることがわかっている。これは、特に吸気弁 2 と排気弁 4 とが共に開いている期間（すなわち、バルブオーバーラップ）がある場合等において既燃ガスが吸気ポート 3 に逆流することに関連するものと考えられる。すなわち、バルブオーバーラップがある場合において、下流側吸気管内圧力  $P_m$  が所定圧力以上である時には、下流側吸気管内圧力  $P_m$  が高いほど既燃ガスの逆流が顕著に減少するために、上記所定圧力以下である

時に比較して、Aの値は大きくされると共にBの値は小さくされる。

ここで、筒内吸入空気流量 $m_c$ について、図9を参照して内燃機関が4気筒である場合について説明する。なお、図9は横軸がクランクシャフトの回転角度、縦軸が単位時間あたりに吸気管部分8'から燃焼室6に実際に流入する空気の量である。図9に示したように、4気筒の内燃機関では、吸気弁2が例えば1番気筒、3番気筒、4番気筒、2番気筒の順に開弁し、各気筒に対応する吸気弁2の開弁量に応じて吸気管部分8'から各気筒の燃焼室6内へ空気が流入する。吸気管部分8'から各気筒の燃焼室6内に流入する空気の流量の変位は図9に破線で示した通りであり、これらを総合した吸気管部分8'から全気筒の燃焼室6に流入する空気の流量は図9に実線で示した通りである。また、例えば1番気筒への筒内充填空気量 $M_c$ は図9に斜線で示した部分に相当する。

これに対して、実線で示した吸気管部分8'から全ての気筒の燃焼室6に流入する空気の量を平均化したものが筒内吸入空気流量 $m_c$ であり、図中に一点鎖線で示されている。そして、この一点鎖線で示した筒内吸入空気流量 $m_c$ に、4気筒の場合にはクランクシャフトが $180^\circ$ （すなわち、4ストローク式内燃機関において1サイクル中にクランクシャフトが回転する角度 $720^\circ$ を気筒数で割った角度）回転するのにかかる時間 $\Delta T_{180^\circ}$ を乗算したものが筒内充填空気量 $M_c$ となる。したがって、吸気弁モデルM23で算出された筒内吸入空気流量 $m_c$ に $\Delta T_{180^\circ}$ を乗算することで、筒内充填空気量 $M_c$ を算出することができる（ $M_c = m_c \cdot \Delta T_{180^\circ}$ ）。更に、この筒内充填空気量 $M_c$ を、1気圧、 $25^\circ\text{C}$ の状態において一気筒当たりの排気量に相当する容積を占める空気の質量で除算することによって筒内空気充填率 $K_1$ を算出することができる。

このように筒内充填空気量 $M_c$ 、筒内吸入空気流量 $m_c$ 、筒内空気充填率 $K_1$ は互いに比例関係にあり、何れか一つの値を求めれば他の値を求めることができる。すなわち、これらの値は相互に換算することが可能である。

なお、本明細書において、内燃機関の吸気量とは、内燃機関の（稼動中の）全気筒の燃焼室内に吸入される空気の量のことであり、これは上記の筒内充填空気量 $M_c$ 、筒内吸入空気流量 $m_c$ 、筒内空気充填率 $K_1$ の何れを用いても表現することができる。

ところで、本実施形態においては、上述したように、バルブリフト量変更装置14や開閉タイミングシフト装置15によって吸気弁2の開弁特性（リフト量、作用角、バルブタイミング）を制御することができ、スロットル弁12によって下流側吸気管内圧力を制御することができる。そして、この開弁特性とスロットル弁12の開度（より詳細には、スロットル弁下流側の吸気管内圧力）とを協調制御することによって吸気量が制御される。すなわち、スロットル弁と、開弁特性制御手段であるバルブリフト量変更装置14及び開閉タイミングシフト装置15とが協働して吸気量を制御する。そして、本実施形態ではこのような吸気量制御の際に、上述した各モデル式を利用した制御がなされる。以下ではその具体的な方法について図10のフローチャートを参照しつつ説明する。

図10は、本実施形態における吸気量制御の制御ルーチンを示すフローチャートである。本制御ルーチンはECU28により予め定めた時間、すなわち制御周期 $T_s$ 毎の割込みによって実施される。

本制御ルーチンがスタートすると、まずステップ101において、制御周期 $T_s$ に相当する時間経過後に実現すべき目標吸気量 $m_{cta}$ が求められる。なお、上述したように吸気量は、上記の筒内充填空気量 $M_c$ 、筒内吸入空気流量 $m_c$ 、筒内空気充填率 $K_1$ の何れ

を用いても表現することができるが、以下の説明では筒内吸入空気流量  $m_c$  を用いて表現する。したがって、上記目標吸気量  $m_{cta}$  は、より詳細には、制御周期  $T_s$  に相当する時間経過後に実現すべき筒内吸入空気流量  $m_c$  のことである。

この目標吸気量  $m_{cta}$  は、内燃機関の運転状態、より詳細には機関回転数  $N_E$  及びアクセル踏み量  $L$  に要求トルク  $T_{Qr}$  を対応させたマップと、要求トルク  $T_{Qr}$  に目標吸気量  $m_{cta}$  を対応させたマップとを事前に作成しておき、これらのマップに基づいて求めるようにしてもよいが、本実施形態においては以下のようにして求められる。

すなわち、本実施形態においては、機関回転数  $N_E$  とアクセル踏み量  $L$  とから、開弁特性が予め定めた基準状態に設定されているとした場合のスロットル開度（すなわち、基準目標スロットル開度） $\theta_{tb}$  を求めるマップが事前に作成され、ECU 28 に記憶されている。ここで上記基準状態は、例えば、バルブリフト量変更装置 14 や開閉タイミングシフト装置 15 を有していない通常エンジンにおける標準的なバルブリフト量及び作用角、並びに開閉タイミングとされ得る。

そして、まず上記基準目標スロットル開度  $\theta_{tb}$  を求めるマップに基づいて、機関回転数  $N_E$  とアクセル踏み量  $L$  とから基準目標スロットル開度  $\theta_{tb}$  が求められる。そして、この基準目標スロットル開度  $\theta_{tb}$  により、上述したスロットルモデルのモデル式（式（2））が定められる（下記式（15））。

$$m_{tb} = F(\theta_{tb}) \cdot \frac{P_{ac}}{\sqrt{R \cdot T_a}} \cdot \Phi\left(\frac{P_m}{P_{ac}}\right) \quad \dots (15)$$

一方、開弁特性が予め定めた基準状態に設定されているとすると

、機関回転数 $N_E$ 等から上述した吸気弁モデルのモデル式（式（14））の適合パラメータ $A$ 、 $B$ が定められ、そのモデル式が定められる。適合パラメータ $A$ 、 $B$ が $A_b$ 、 $B_b$ に定められたとすると下記式（16）のようになる。

$$m_{cb} = A_b \cdot P_m - B_b \quad \dots (16)$$

そして吸気量が目標吸気量になる状態は、すなわち収束状態であり、その時スロットル弁通過空気流量 $m_t$ と筒内吸入空気流量 $m_c$ は等しくなる。したがって、上記のように定められたスロットルモデルのモデル式（式（15））から得られるスロットル弁通過空気流量 $m_{tb}$ と、上記のように定められた吸気弁モデルのモデル式（式（16））から得られる筒内吸入空気流量 $m_{cb}$ とが、同一の下流側吸気管内圧力 $P_m$ に対して等しくなる時の上記筒内吸入空気流量 $m_{cb}$ を求めれば、それが目標吸気量 $m_{cta}$ ということになる。

そして、以上のようにして上記目標吸気量 $m_{cta}$ を求めることは、図11に例示したように、上記のように定められたスロットルモデルのモデル式（式（15））によって表される曲線 $m_{tb}$ と上記のように定められた吸気弁モデルのモデル式（式（16））によって表される直線 $m_{cb}$ との交点 $EP_b$ を求め、その縦軸の座標を求めることと同義である。ここで、上記交点 $EP_b$ を求める場合、曲線 $m_{tb}$ を表す式（式（15））をそのまま用いて上記交点 $EP_b$ を求めようとする計算が非常に複雑になる。そこで、計算を簡単にするために、上記曲線 $m_{tb}$ を表す式（式（15））を複数の下流側吸気管内圧力 $P_m$ の一次式で近似するようにしてもよい。すなわち、上記曲線 $m_{tb}$ を複数の直線で近似するようにする。具体

的には、例えば下流側吸気管内圧力  $P_m$  の一定間隔毎に上記曲線  $m_{tb}$  を表す式（式（15））に基づいてスロットル弁通過空気流量  $m_{tb}$  を算出して下流側吸気管内圧力  $P_m$  の一定間隔毎の上記曲線  $m_{tb}$  上の点を求め、これらの隣り合う2点を結ぶ各直線を上記曲線  $m_{tb}$  の近似直線として求めるようにする。そして、これらの各近似直線を表す一次式が上記曲線  $m_{tb}$  を表す式（式（15））の近似一次式となる。

ところで、上記曲線  $m_{tb}$  を表す式の一次式への近似は、上記交点  $EPb$  を容易に求めるためであるので、ここで必要となるのは上記交点  $EPb$  の近傍における近似一次式である。したがって、この近似一次式のみを求めるようにしてもよい。この場合、下流側吸気管内圧力  $P_m$  の一定間隔毎に上記直線  $m_{cb}$  を表す式（式（16））に基づいて筒内吸入空気流量  $m_{cb}$  も求めておき、スロットル弁通過空気流量  $m_{tb}$  と筒内吸入空気流量  $m_{cb}$  との大きさが逆転するところを求めることで上記交点  $EPb$  の位置が特定できる。

すなわち、上記交点  $EPb$  近傍（すなわち、スロットル弁通過空気流量  $m_{tb}$  と筒内吸入空気流量  $m_{cb}$  との大きさが逆転する部分）における近似一次式は、例えば曲線  $m_{tb}$  上の2点であってスロットル弁通過空気流量  $m_{tb}$  と筒内吸入空気流量  $m_{cb}$  との大きさが逆転する前後の2点を結んだ直線を表す一次式とされる。

なお、以上の説明から理解されると思われるが、上記基準状態をバルブリフト量変更装置14や開閉タイミングシフト装置15を有していない通常エンジンにおける標準的なバルブリフト量及び作用角、開閉タイミングとして上記の方法により目標吸気量  $m_{cta}$  を求めると、通常エンジンの場合において運転者があるアクセル踏み量  $L_c$  で意図する吸気量と同じ吸気量を、本実施形態における同じアクセル踏み量  $L_c$  に対する目標吸気量  $m_{cta}$  として求める

ことができる。

ステップ 101 で目標吸気量  $m_{cta}$  が求められると、続くステップ 103 において、吸気弁 2 の目標開弁特性  $C_{vta}$ 、すなわち、目標リフト量  $L_{tta}$  及び目標作用角  $S_{ata}$ 、並びに目標開閉タイミングシフト量（すなわち、基準となる開閉タイミングからの遅角または進角量であって開閉タイミングシフト装置による変位角） $V_{tta}$  が決定される。なお、上述の説明から明らかなように、本実施形態においてはリフト量  $L_t$  と作用角  $S_a$  には一定の関係があり、作用角  $S_a$  が決まればリフト量  $L_t$  も決まるので、目標リフト量  $L_{tta}$  及び目標作用角  $S_{ata}$  を決定する場合、実際には目標作用角  $S_{ata}$  がマップを用いて決定される。

より詳細には、ステップ 103 においては、上記目標作用角  $S_{ata}$  及び目標開閉タイミングシフト量  $V_{tta}$  が、機関回転数  $N_E$ 、目標吸気量  $m_{cta}$  等に対して、燃費、エミッション、トルク変動等の条件が複合的に最適となる作用角  $S_a$  及び開閉タイミングシフト量  $V_t$  が得られるように作成されたマップに基づいて決定される。このようなマップは事前に実験等によって求められ、ECU 28 に記憶させておく。

ステップ 103 において目標開弁特性  $C_{vta}$  が決定されると、続くステップ 105 において、目標吸気管内圧力  $P_{mta}$  が求められる。この目標吸気管内圧力  $P_{mta}$  は吸気弁 2 の開弁特性  $C_v$  が上記目標開弁特性  $C_{vta}$  に設定されている場合に上記目標吸気量  $m_{cta}$  を実現するスロットル弁下流側の吸気管内圧力  $P_m$  である。

そして、本実施形態において、この目標吸気管内圧力  $P_{mta}$  は、上述した吸気弁モデルのモデル式（式（14））を用いて以下のように求められる。すなわち、まず開弁特性  $C_v$  が上記目標開弁特

性  $C_{vta}$  に設定されているとして、機関回転数  $N_E$  等から上述した吸気弁モデルのモデル式（式（14））の適合パラメータ  $A$ 、 $B$  を定め、そのモデル式を定める。つまり、適合パラメータ  $A$ 、 $B$  が  $A_f$ 、 $B_f$  に定められたとすると下記式（17）のようになる。

$$mcf = Af \cdot P_m - Bf \quad \dots (17)$$

そして、上記目標吸気管内圧力  $P_{mta}$  は、この式（17）において目標吸気量  $m_{cta}$  を実現する下流側吸気管内圧力  $P_m$  であるので、式（17）に基づいて下記式（18）のように表すことができる。

$$P_{mta} = \frac{m_{cta} + Bf}{Af} \quad \dots (18)$$

上記開弁特性  $C_v$  が上記目標開弁特性  $C_{vta}$  に設定されている場合の吸気弁モデルのモデル式（式（17））で表される直線  $mcf$  と上記目標吸気管内圧力  $P_{mta}$  とを図示すると、例えば図12のようになる。

ステップ105において目標吸気管内圧力  $P_{mta}$  が求められると、続くステップ107において、目標スロットル開度  $\theta_{tta}$  が求められる。この目標スロットル開度  $\theta_{tta}$  は下流側吸気管内圧力  $P_m$  を上記目標吸気管内圧力  $P_{mta}$  とするスロットル開度  $\theta_t$  である。本実施形態において、この目標スロットル開度  $\theta_{tta}$  は、上述したスロットルモデルのモデル式（式（2））を用いて以下のようにして求められる。

すなわち、スロットル開度  $\theta_t$  を目標スロットル開度  $\theta_{tta}$  とした場合には、下流側吸気管内圧力  $P_m$  が上記目標吸気管内圧力  $P$

$m_{t a}$  に収束すると共に、スロットル弁通過空気流量  $m_t$  が目標吸気量  $m_{c t a}$  に収束するはずであるので、下記式 (19) が成立する。

$$m_{c t a} = F(\theta_{t t a}) \cdot \frac{P_{a c}}{\sqrt{R \cdot T_a}} \cdot \Phi\left(\frac{P_{m t a}}{P_{a c}}\right) \quad \cdots (19)$$

そして、式 (19) は、下記式 (20) のように変形することができる。

$$F(\theta_{t t a}) = \frac{m_{c t a}}{\frac{P_{a c}}{\sqrt{R \cdot T_a}} \cdot \Phi\left(\frac{P_{m t a}}{P_{a c}}\right)} \quad \cdots (20)$$

そしてここで、式 (20) の左辺はスロットル開度  $\theta_t$  のみの関数であるので、式 (20) の右辺の値を計算することで、式 (20) に基づいて目標スロットル開度  $\theta_{t t a}$  を求めることができる。すなわち、例えば、上述したスロットル開度  $\theta_t$  から  $F(\theta_t)$  の値を求めるマップを逆に用いることで、算出された式 (20) の右辺の値を用いて目標スロットル開度  $\theta_{t t a}$  を求めることができる。

なお、上記式 (20) は、上記式 (8) 及び式 (18) を用いると、下記式 (21) のように書き換えることができる。

$$F(\theta_{t t a}) = \frac{m_{c t a}}{\left( \frac{P_a - \frac{f(m_{c t a})}{e_{k p a} \cdot e_{k t h a}}}{\sqrt{R \cdot T_a}} \right) \cdot \Phi\left( \frac{\frac{m_{c t a} + B f}{A f}}{P_a - \frac{f(m_{c t a})}{e_{k p a} \cdot e_{k t h a}}} \right)} \quad \cdots (21)$$

また、上記のようにして求められた目標スロットル開度  $\theta_{t t a}$

を上記式（２）に代入すると下記式（２２）が得られる。そしてこの式（２２）で表されるスロットル通過空気流量 $m_{tf}$ の曲線を図示すると図１３のように点 $E_{P_f}$ （ $P_{m_{ta}}$ ,  $m_{c_{ta}}$ ）を通る曲線となる。

$$m_{tf} = F(\theta_{tta}) \cdot \frac{P_{ac}}{\sqrt{R \cdot T_a}} \cdot \Phi\left(\frac{P_m}{P_{ac}}\right) \quad \dots (22)$$

ステップ１０７において目標スロットル開度 $\theta_{tta}$ が求められると、続くステップ１０９において、吸気弁２の開弁特性 $C_v$ が上記目標開弁特性 $C_{v_{ta}}$ になるようにバルブリフト量変更装置１４及び開閉タイミングシフト装置１５が制御されると共に、スロットル開度 $\theta_t$ が上記目標スロットル開度 $\theta_{tta}$ になるようにスロットル弁１２が制御される。これによって、吸気量が目標吸気量 $m_{c_{ta}}$ になるように制御される。そしてステップ１０９を終了するとステップ１０１に戻り同様の制御が繰り返される。

なお、本実施形態では、バルブリフト量変更装置１４及び開閉タイミングシフト装置１５によって吸気弁２の開弁特性のみが変更され、排気弁４の開弁特性は変更されていないが、他の実施形態では、排気弁用のバルブリフト量変更装置及び開閉タイミングシフト装置を設けることによって排気弁４の開弁特性を変更できるようにしてもよい。

また、以上では、スロットル弁１２と、バルブリフト量変更装置１４及び開閉タイミングシフト装置１５という可変動弁機構との協調制御によって吸気量を制御する場合を例にとって説明したが、本発明はこれに限定されるものではなく、スロットル弁と、可変動弁機構以外の吸気量可変手段、例えば気筒数可変機構や排気量可変機構等とが協働して吸気量を制御する場合にも適用可能である。すな

わち、これらの吸気量可変手段についてその設定状態に対応して上記吸気弁モデルのモデル式の適合パラメータ A、B を適切に定めておけば、上述した可変動弁機構の場合と同様にして、目標吸気量や目標スロットル開度を求めることができる。

なお、本発明について特定の実施形態に基づいて詳述しているが、当業者であれば本発明の請求の範囲及び思想から逸脱することなく、様々な変更、修正等が可能である。

## 請 求 の 範 囲

1. スロットル弁と、該スロットル弁と協働する吸気量可変手段とを備えた内燃機関において吸気量を制御する装置であって、

機関吸気系をモデル化して該機関吸気系を通過する空気について表したモデル式を備えていて、更に、

アクセル開度と機関回転数とに基づいて目標吸気量を求める手段と、

少なくとも上記目標吸気量に基づいて上記吸気量可変手段についての目標設定状態を決定する手段と、

上記目標吸気量と、上記目標設定状態とから、上記モデル式に基づいて上記目標吸気量を実現するスロットル開度である目標スロットル開度を求める手段とを有する、内燃機関の吸気量制御装置。

2. 目標スロットル開度を求める上記手段は、上記目標吸気量と、上記目標設定状態とに基づいて、上記吸気量可変手段が上記目標設定状態に設定されている場合に上記目標吸気量を実現するスロットル弁下流側の吸気管内圧力である目標吸気管内圧力を求める手段と、上記目標吸気量と、上記目標吸気管内圧力とに基づいて、上記目標スロットル開度を求める手段とを有している、請求項1に記載の内燃機関の吸気量制御装置。

3. 上記モデル式として、スロットル弁下流側の吸気管内圧力とスロットル弁通過空気流量との関係を表す第1の式であってスロットル開度に応じて定まる第1の式と、

スロットル弁下流側の吸気管内圧力と筒内吸入空気流量との関係を表す第2の式であって少なくとも上記吸気量可変手段の設定状態と機関回転数とに応じて定まる第2の式と、を有している、請求項1に記載の内燃機関の吸気量制御装置。

4. 目標吸気量を求める上記手段は、上記アクセル開度と上記機関回転数とに基づいて上記吸気量可変手段が予め定めた基準状態に設定されているとした場合における目標スロットル開度である基準目標スロットル開度を求める手段を有して、該手段によって求められた基準目標スロットル開度によって定められた上記第1の式に基づいて求められるスロットル弁通過空気流量と、上記吸気量可変手段が上記基準状態に設定されているとして少なくとも機関回転数によって定められた上記第2の式に基づいて求められる筒内吸入空気流量とが同一のスロットル弁下流側吸気管内圧力に対して等しくなる時の上記筒内吸入空気流量を求め、該筒内吸入空気流量を目標吸気量とする、もしくは該筒内吸入空気流量を換算した値を目標吸気量とする、請求項3に記載の内燃機関の吸気量制御装置。

5. 目標スロットル開度を求める上記手段は、上記目標吸気量と、上記目標設定状態とに基づいて、上記吸気量可変手段が上記目標設定状態に設定されている場合に上記目標吸気量を実現するスロットル弁下流側の吸気管内圧力である目標吸気管内圧力を求める手段を有して、該手段は、上記吸気量可変手段が上記目標設定状態に設定されているとして少なくとも機関回転数によって定められた上記第2の式に筒内吸入空気流量で表された上記目標吸気量を代入することによって上記目標吸気管内圧力を求める、請求項3に記載の内燃機関の吸気量制御装置。

6. 目標スロットル開度を求める上記手段は、上記目標吸気量と、上記目標吸気管内圧力とに基づいて上記目標スロットル開度を求める手段を更に有して、該手段は、筒内吸入空気流量で表された上記目標吸気量と、上記目標吸気管内圧力とを用いて、上記第1の式に基づいて上記目標スロットル開度を求める、請求項5に記載の内燃機関の吸気量制御装置。

7. 上記吸気量可変手段は、吸気弁及び排気弁の少なくとも一方の開弁特性を制御する開弁特性制御手段である、請求項1に記載の内燃機関の吸気量制御装置。

8. スロットル弁と、該スロットル弁と協働する吸気量可変手段とを備えた内燃機関において吸気量を制御する方法であって、

アクセル開度と機関回転数とに基づいて目標吸気量を求める段階と、

少なくとも上記目標吸気量に基づいて上記吸気量可変手段についての目標設定状態を決定する段階と、

上記目標吸気量と、上記目標設定状態とから、機関吸気系をモデル化して該機関吸気系を通過する空気について表したモデル式に基づいて上記目標吸気量を実現するスロットル開度である目標スロットル開度を求める段階とを有する、内燃機関の吸気量制御方法。

9. 目標スロットル開度を求める上記段階は、上記目標吸気量と、上記目標設定状態とに基づいて、上記吸気量可変手段が上記目標設定状態に設定されている場合に上記目標吸気量を実現するスロットル弁下流側の吸気管内圧力である目標吸気管内圧力を求める段階と、上記目標吸気量と、上記目標吸気管内圧力とに基づいて、上記目標スロットル開度を求める段階とを有している、請求項8に記載の内燃機関の吸気量制御方法。

10. 上記モデル式として、スロットル弁下流側の吸気管内圧力とスロットル弁通過空気流量との関係を表す第1の式であってスロットル開度に応じて定まる第1の式と、

スロットル弁下流側の吸気管内圧力と筒内吸入空気流量との関係を表す第2の式であって少なくとも上記吸気量可変手段の設定状態と機関回転数とに応じて定まる第2の式と、が少なくとも用いられる、請求項8に記載の内燃機関の吸気量制御方法。

11. 目標吸気量を求める上記段階は、上記アクセル開度と上記機関回転数とに基づいて上記吸気量可変手段が予め定めた基準状態に設定されているとした場合における目標スロットル開度である基準目標スロットル開度を求める段階を有して、

目標吸気量を求める上記段階においては、上記基準目標スロットル開度によって定められた上記第1の式に基づいて求められるスロットル弁通過空気流量と、上記吸気量可変手段が上記基準状態に設定されているとして少なくとも機関回転数によって定められた上記第2の式に基づいて求められる筒内吸入空気流量とが同一のスロットル弁下流側吸気管内圧力に対して等しくなる時の上記筒内吸入空気流量が求められ、該筒内吸入空気流量が目標吸気量とされる、もしくは該筒内吸入空気流量を換算した値が目標吸気量とされる、請求項10に記載の内燃機関の吸気量制御方法。

12. 目標スロットル開度を求める上記段階は、上記目標吸気量と、上記目標設定状態とに基づいて、上記吸気量可変手段が上記目標設定状態に設定されている場合に上記目標吸気量を実現するスロットル弁下流側の吸気管内圧力である目標吸気管内圧力を求める段階を有して、該段階においては、上記吸気量可変手段が上記目標設定状態に設定されているとして少なくとも機関回転数によって定められた上記第2の式に筒内吸入空気流量で表された上記目標吸気量を代入することによって上記目標吸気管内圧力が求められる、請求項10に記載の内燃機関の吸気量制御方法。

13. 目標スロットル開度を求める上記段階は、上記目標吸気量と、上記目標吸気管内圧力とに基づいて上記目標スロットル開度を求める段階を更に有して、該段階においては、筒内吸入空気流量で表された上記目標吸気量と、上記目標吸気管内圧力とを用いて、上記第1の式に基づいて上記目標スロットル開度が求められる、

請求項 1 2 に記載の内燃機関の吸気量制御方法。

1 4 . 上記吸気量可変手段は、吸気弁及び排気弁の少なくとも一方の開弁特性を制御する開弁特性制御手段である、請求項 8 に記載の内燃機関の吸気量制御方法。

Fig.1

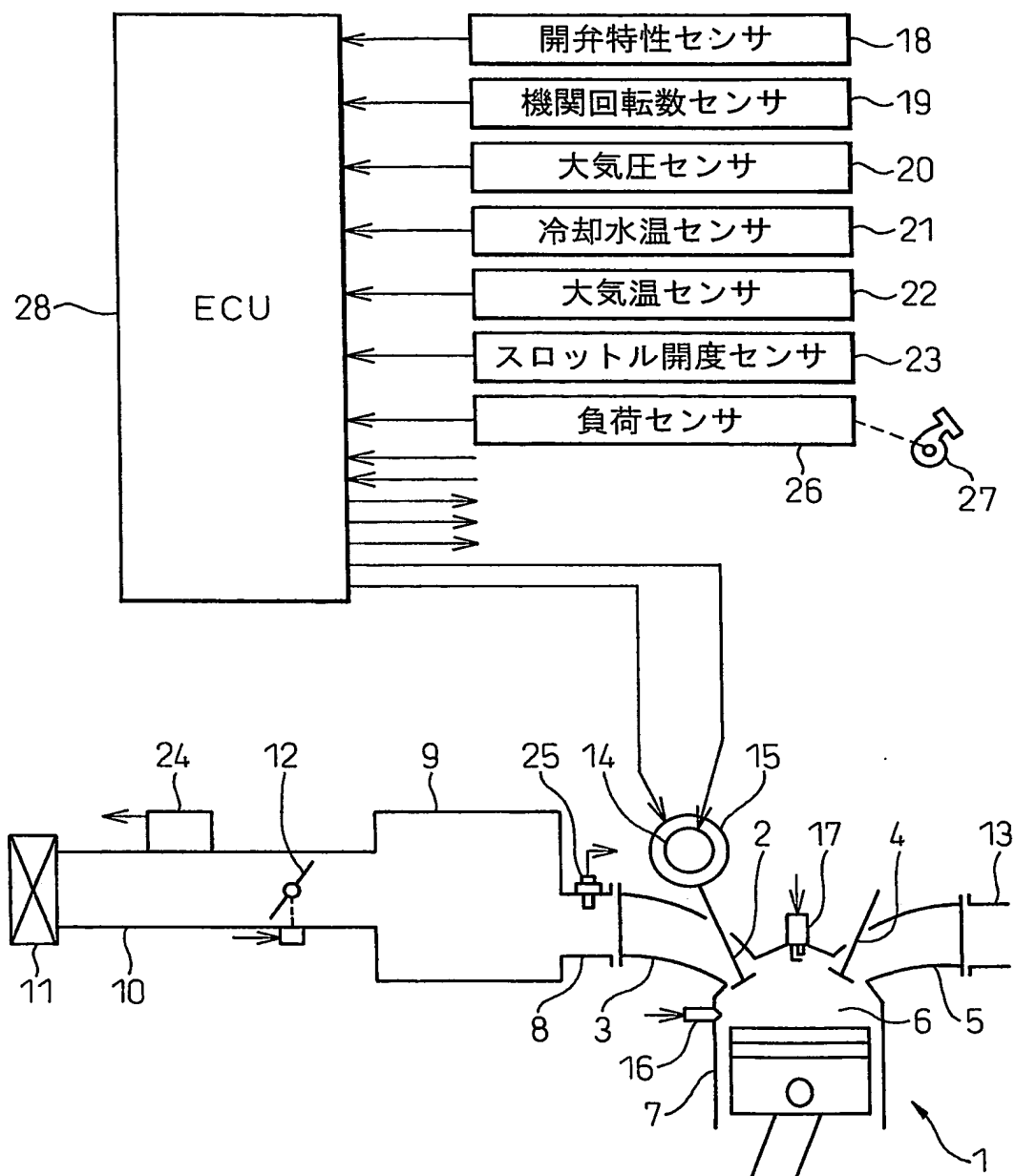


Fig.2

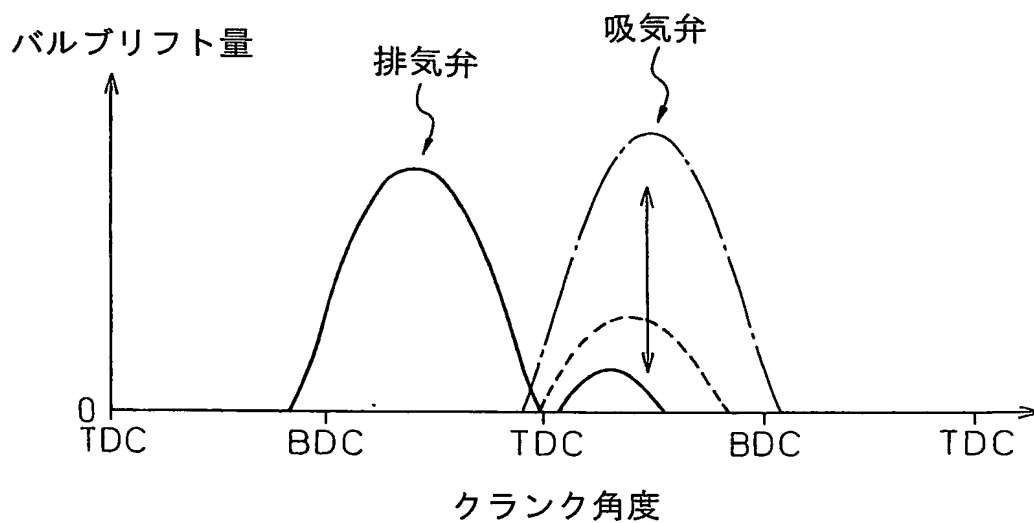


Fig.3

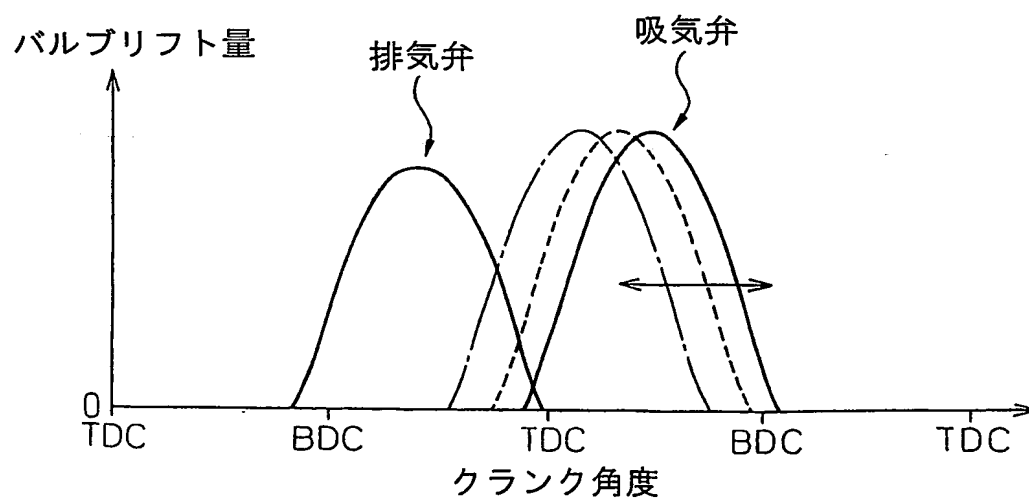


Fig.4

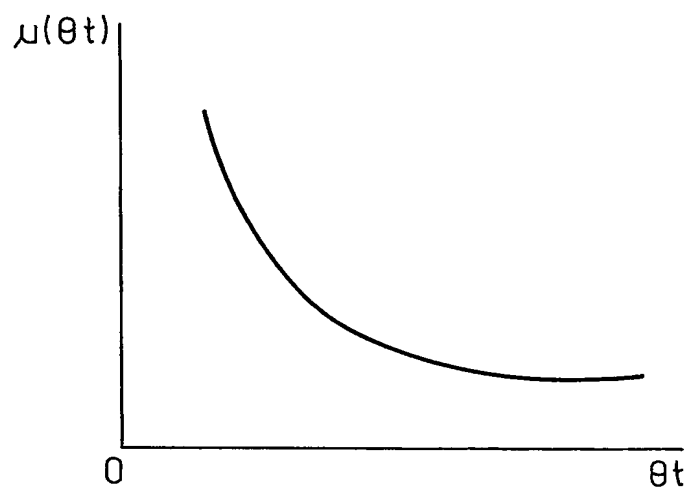


Fig.5

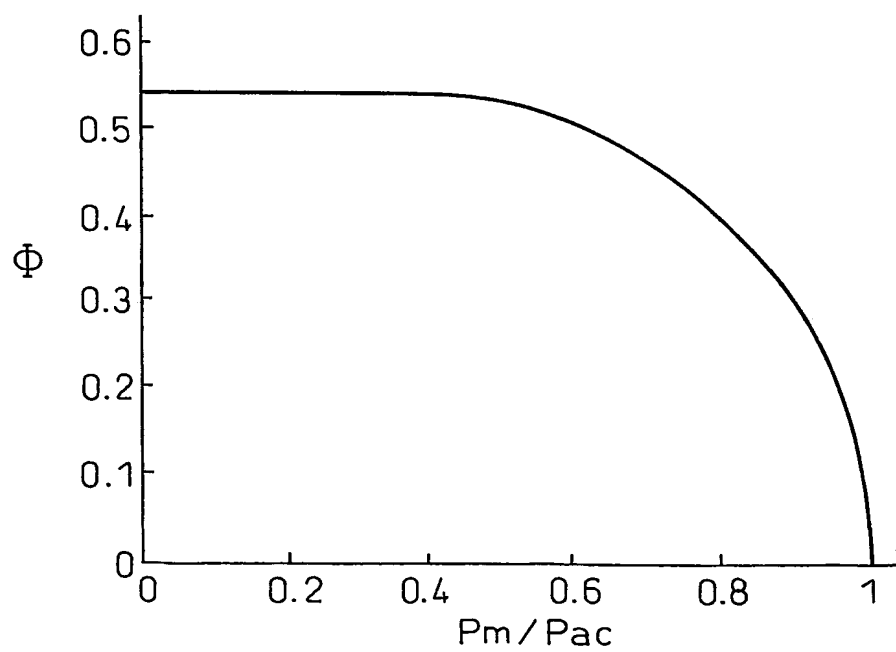


Fig.6

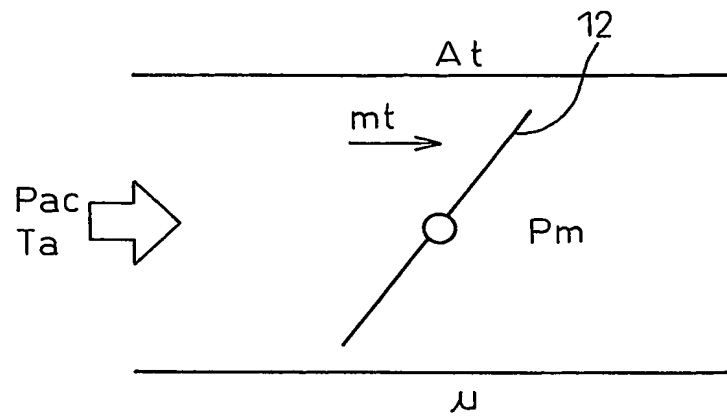


Fig.7

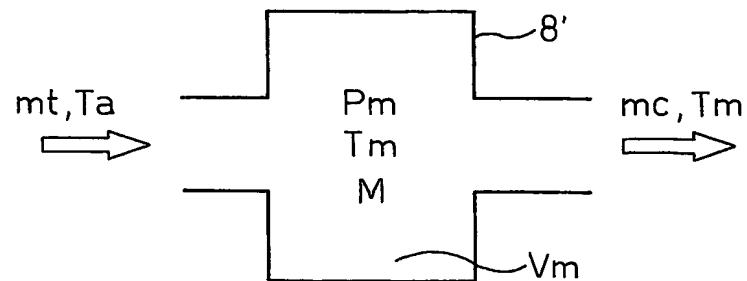


Fig.8

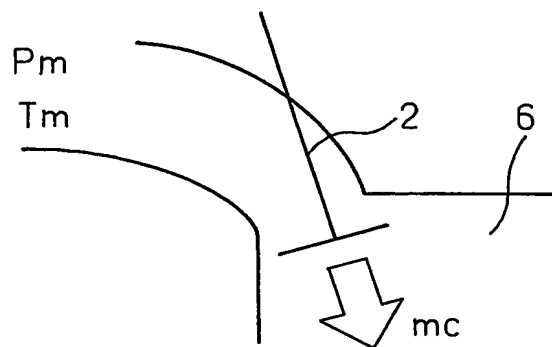


Fig.9

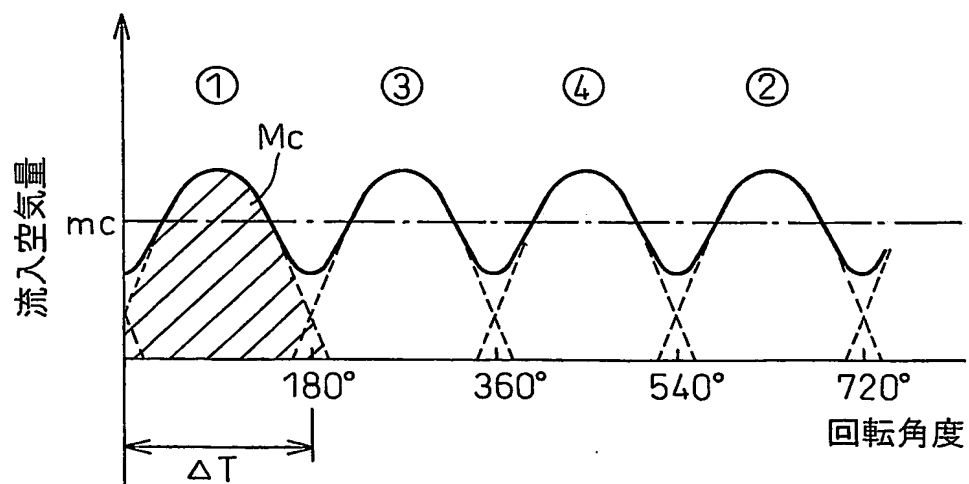


Fig.10

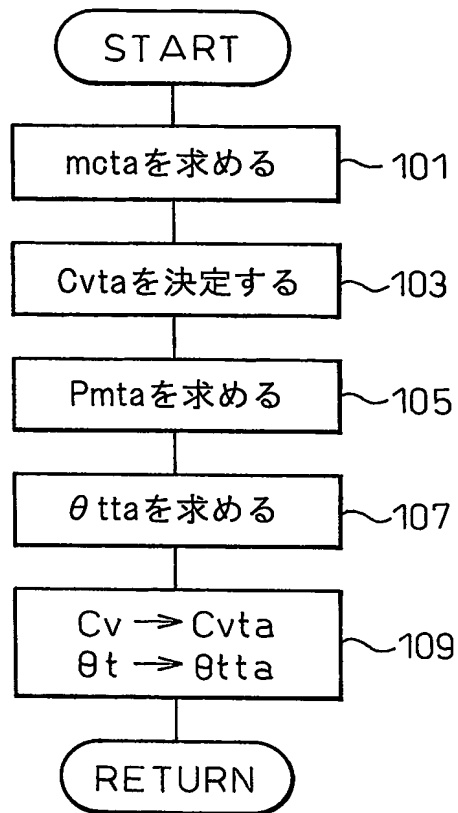


Fig.11

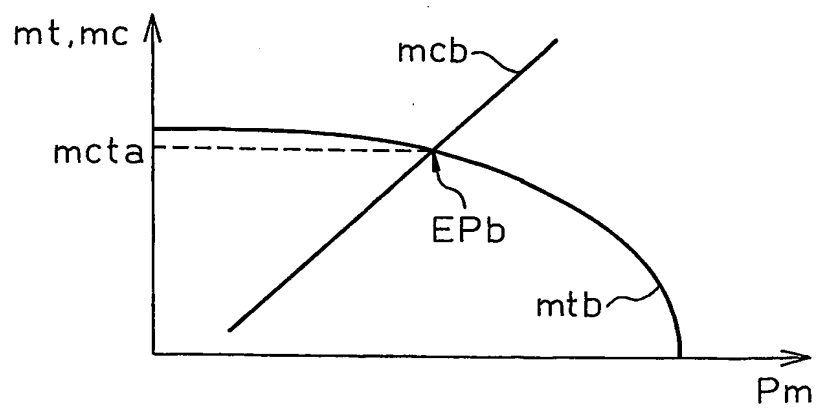


Fig.12

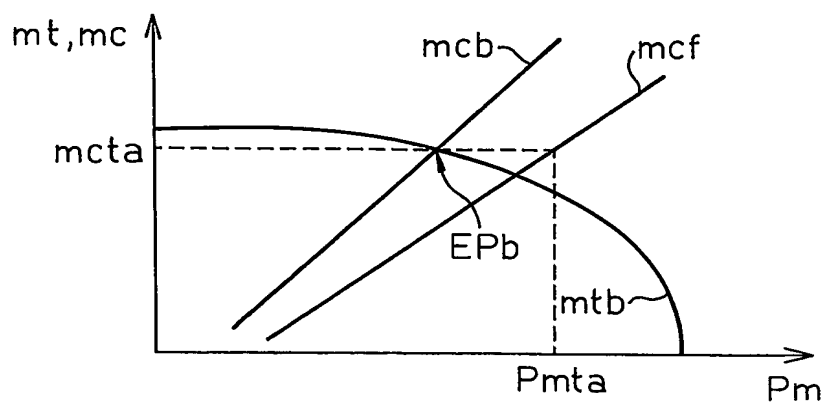
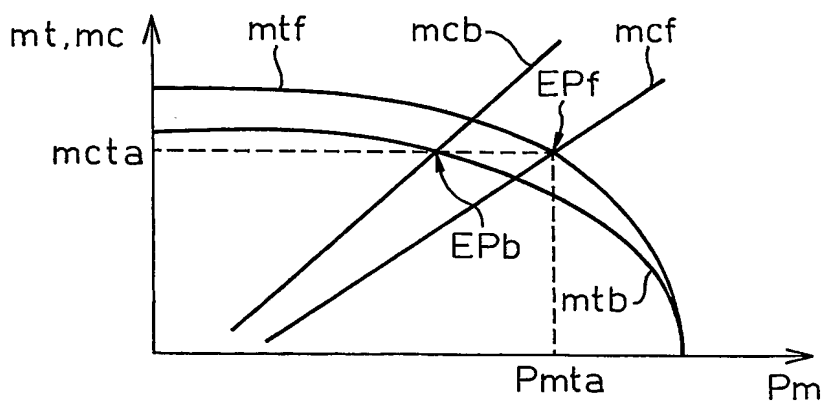


Fig.13



## 符号の説明

- 1 … 内燃機関本体
- 2 … 吸気弁
- 3 … 吸気ポート
- 4 … 排気弁
- 5 … 排気ポート
- 6 … 燃焼室
- 7 … シリンダ（気筒）
- 9 … サージタンク
- 1 1 … エアクリーナ
- 1 2 … スロットル弁
- 1 4 … バルブリフト量変更装置
- 1 5 … 開閉タイミングシフト装置
- 1 8 … 開弁特性センサ
- 2 4 … エアフローメータ
- 2 8 … E C U（電子制御装置）